

Изв. вузов. Электромеханика. – 1984. – № 10. – С. 96–100. 5. П а н а с ю к В.И. Снижение энергопотерь в регулируемых электроприводах // Изв. вузов. Энергетика. – 1986. – № 8. – С. 8–13. 6. П е т р о в Ю.П. Оптимальное управление электроприводом с учетом ограничений по нагреву. – Л.: Энергия, 1971. – 144 с. 7. И в а н о в В.А., Ф а л д и н Н.В. Теория оптимальных систем автоматического управления. – М.: Наука, 1981. – 336 с. 8. Г а б а с о в Р., К и р и л л о в а Ф.М. Принцип максимума в теории оптимального управления. – Мн.: Наука и техника, 1974. – 272 с.

УДК 62–50

А.А. МОСКАЛЕНКО, В.И. ЛИТВИНЕЦ

## МНОГОСВЯЗНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ С АНАЛИТИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИЕЙ

Большинство объектов автоматизации в теплоэнергетике характеризуются не только многопараметрической зависимостью "вход–выход", но и нестационарностью динамических свойств при изменении нагрузки в широких пределах. В таких условиях построение системы регулирования на принципах автономности контуров не отвечает требованиям оптимального ведения технологии процесса и оптимизация отдельных сепаратных контуров автоматической системы регулирования (АСР) не обеспечивает (в общем случае) оптимизации режима установки в целом [1].

Рассмотрим типовую для промышленных объектов задачу, в которой структура многосвязной системы управления задана соответственно технологическому алгоритму частично, известны ограничивающие факторы и исходные динамические характеристики объекта. Необходимо определить взаимосвязи контуров регулирования, диапазон изменения основных параметров настройки для обеспечения требуемых динамических свойств (точности и быстродействия) системы в переменных условиях. При этом предполагается изменение статических и динамических параметров объекта в процессе эксплуатации и в зависимости от уровня нагрузки, а также наличие переменного запаздывания.

Анализ поставленной задачи применительно к многомерным стационарным объектам с запаздыванием позволяет выделить группу способов достижения цели: обеспечение координированной работы взаимосвязанных контуров регулирования при выполнении программы управления; обеспечение автономности основных контуров при характерных возмущениях, что соответствует классическому методу расчета и оптимизации многосвязных систем регулирования, функционирование которых определяется показателями качества, одновременно зависящими от ряда управляемых величин; использование теории упреждения запаздывания и компенсации инерционности с применением векторной оптимизации; использование алгебраических модификаций рассогласования модели и объекта для адаптации системы в целом; комбинирование двух последних способов оптимизации АСР [2].

Проектирование сложных систем промышленных многомерных объектов производится, как правило, по результатам оценки динамического и статического факторов связности отдельных каналов регулирования, после чего рекомендуется [1, 3] исключить контуры, резко отличающиеся от заданных рабочих частот, и выделить добротные двух-трехсвязные подсистемы, комбини-



проверки адекватности объекта и модели могут быть использованы для организации аналитического контура адаптации многосвязной системы. Соответственно принципу локализации модель объекта с упредителем формируется только для тех контуров  $m$ -переменных, которые входят в векторный критерий оценки качества работы системы. Причем названному принципу отвечают алгоритмы с вектором скорости в управлении и достижением больших коэффициентов усиления при подавлении существенных возмущений.

В таком случае основой аналитических контуров адаптации многосвязной системы (рис. 1) является нелинейный модуль  $N_{ij}(p)$ , пропускающий сигнал  $B$  на матрицу форсирования  $\Phi_{ij}(p)$  с учетом рассогласования входной  $C$  координаты  $\Delta x_{вх}$ , оцениваемой для оптимальных по быстродействию систем характером приращений во времени на активном фронте кривых разгона. Для нестационарных объектов, в системе уравнений которых присутствуют переменные параметры (времена запаздывания, постоянные времени, коэффициенты передачи), изменяющиеся медленно по сравнению с временем переходного процесса, производится коррекция настройки регулятора и упредителя, а также модели запаздываний и нелинейного модуля. При этом блок подстройки БП осуществляет циклическую проверку соответствия модели и объекта.

Достигнутые в заданных условиях показатели качества работы системы сохраняются практически во всех нестандартных режимах, включая возмущения  $F_{ij}(p)$  и колебания статических характеристик объекта, парируемые работой БП [2] (вероятностная адаптация).

Детерминированная (или жесткая) адаптация системы также может быть выполнена следующим образом. Экспериментально определенные переходные функции контуров объекта после соответствующей обработки помещаются в память вычислительной машины (ППЗУ микроЭВМ), тем самым задаются исходные условия работы аналитического алгоритма [5]. Получая информацию об уровне нагрузки или о значении какого-либо наиболее важного параметра посредством дешифратора производится извлечение из памяти требуемых констант, характеризующих динамику объекта. После этого по заданным критериям производится расчет и коррекция параметров динамической настройки контуров системы. Уточнение и внесение исправлений в ППЗУ производится анализатором по результатам тестовой проверки данных о динамике объекта, в качестве которых могут быть использованы и экспериментальные возмущения.

Адаптивная система может быть реализована как гибридная с использованием серийной аппаратуры ГСП и микроЭВМ (цифроаналоговая), так и в цифровом исполнении на базе существующих микроЭВМ, например "Электроника-60М".

Построение системы управления многомерным объектом на основе изложенных материалов позволяет при расчете настройки традиционных элементов схемы пользоваться упрощенными методами, так как коррекция режима за счет работы аналитических контуров адаптации приводит к оптимальному ведению переходных процессов. При этом вычисление значений параметров настройки системы производится по алгоритмам, выведенным из рекуррентной формулы (1), что определяет унимодальный характер выбранных в качестве критерия оптимизации функций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Моеров М.В., Литвак Б.Л. Оптимизация систем многосвязного управления. — М.: Наука, 1972. — 344 с. 2. А. с. 1174902 СССР, G 05 B 5/00. Адаптивная система управления. 3. V i r n s t i e l H. Zur Projektierung von Mehrgrößenregelungen bei geringer und besser Streckenkennnis // Messen—Steuern—Regeln. — (21) 1978. — N. 4. — S. 209—214. 4. Литвинец В.И. К вопросу синтеза многосвязных систем автоматического регулирования // Изв. вузов. Энергетика. — 1981. — № 5. — С. 114—115. 5. А. с. 1224503 СССР, G 05 B 5/00. Автоматическая система регулирования температуры пара котлоагрегата.

УДК 621.311.1

Г.Л. СБРОДОВ

### УПРАВЛЯЕМОСТЬ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Под управлением электропотреблением понимается совокупность организационно-технических мероприятий, направленная на принудительное ограничение потребителей по мощности и энергии. Целесообразно выяснить, управляемо ли электропотребление в буквальном смысле, т. е. может ли оно рассматриваться как объект управления, перемещаемый по заданной траектории под воздействием управляющего устройства.

Процессы производства и потребления электроэнергии совпадают во времени, но разобщены в пространстве (географически и агрегатно). Поэтому целесообразно ввести три пространства (множества) — временное, географическое и агрегатное. Технологический расход электроэнергии на ее производство, передачу и распределение не учитывается.

Под временным пространством понимается двухмерный континуум, одна из осей которого является осью времени, а другая — осью активных нагрузок. Таким образом, временное пространство совпадает с плоскостью графика электропотребления или генерирования электроэнергии.

В работе [1] показано, что на продолжительных интервалах времени  $(0, T)$  графики нагрузок  $P(t), 0 \leq t \leq T$ , могут отождествляться с дифференциальным законом распределения электропотребления во времени, т. е.

$$P(t) = \frac{dW(t)}{dt}, \quad 0 \leq t \leq T. \quad (1)$$

Интегрирование этого уравнения приводит к интегральному закону распределения электропотребления во времени

$$W(t) = \int_0^t P(t) dt, \quad 0 \leq t \leq T.$$

Таким образом  $W(t)$  тождественно электроэнергии, потребленной на интервале  $(0, t)$  с переменным верхним пределом  $t, 0 \leq t \leq T$ .

Поскольку никаких ограничений на  $T$  не накладывается (вплоть до  $T \rightarrow \infty$ ), то условие нормировки плотности электропотребления во времени может быть записано в виде